DOI:10.11931/guihaia.gxzw201903055

湘西地区亚麻酸植物资源调查与筛选[1]

王冰清[1,2]，陈加蓓[1,2]，陈功锡[1*]

(1. 吉首大学 植物资源保护与利用湖南省高校重点实验室，湖南 吉首 416000；2. 吉首大学 生物资源与环境科学学院，湖南 吉首 416000)

摘要：为进一步了解湘西地区亚麻酸资源植物的分布特点以及亚麻酸含量等级，综合评价筛选出适合湘西地区大力发展的亚麻酸资源植物，通过查阅文献、实地调查及对种子油脂相关指标测定，对湘西地区亚麻酸资源植物进行系统调查，并利用 AHP 层次分析法，从植物物种生长特性、油脂特性、开发利用潜能三方面 10 项评价指标，对湘西地区亚麻酸资源植物进行综合评价筛选。结果显示：湘西地区共有亚麻酸资源植物 64 科 128 属 171 种，其中芸香科、大戟科、豆科、唇形科等 8 科是亚麻酸植物数量优势科，花椒属、南蛇藤属、猕猴桃属 3 属是亚麻酸植物数量优势属；生活型中，木本植物有 122 种，草本植物有 49 种，木本植物占绝对优势；中等及高含量（含油量及亚麻酸含量≧20%）亚麻酸植物有 90 种，占亚麻酸植物总数的 52.63 %，这一类群亚麻酸含量丰富，具有较大利用价值；分布格局上，亚麻酸资源植物主要分布在湘西州中北部、海拔 300~1 100 m 的中低山地与丘陵地区，其中海拔 600~800 m 范围内最为丰富，高产富油种主要集中在湘西州中部地区。通过层次分析法综合评价筛选出美味猕猴桃、中华猕猴桃、香薷、藿香、刺壳花椒、杜仲、青葙、紫苏、路边青、回回苏、独行菜这 11 种I级开发利用植物。

关键词：亚麻酸，植物资源，调查分析，层次分析法，综合评价，湘西

中图分类号：S565.9　　　　　　　　　**文献标识码：**A

Investigation and screening of linolenic acid plants in Xiangxi region, China

WANG Bingqing[1,2], CHENJiabei[1,2], CHEN Gongxi[1*]

(1. *Key Laboratory of Plant Resources Conservation and Utilization , Jishou University, College of Hunan Province*, Jishou 416000, Hunan, China,; 2. *College of Biology and Environmental Sciences, Jishou University* , Jishou 416000, Hunan, China)

Absrtact：For recognize the distribution characteristics and the level of linolenic acid content in Xiangxi region, Comprehensive evaluation and screened out the plant rich in linolenic acid that suitable for the development of Xiangxi region. By consulting literature field investigation and determination of seed oil, the linolenic acid plant in Xiangxi region was systematically investigated. By using AHP, From three aspects of plant species growth characteristics,oil characteristics, development and utilization potential choose 10 evaluation Indicators, Comprehensive Evaluation and Screening of Linolenic Acid Resources Plants in Xiangxi. The results showed that there were 171 species of 128 genera and 64 families belonging to linolenic acid resources in Xiangxi region. Among them, Rutaceae, Euphorbiaceae, Leguminosae, Labiatae, Rosaceae, Brassicaceae, Lauraceae, Celastraceae are the dominant families in quantity, *Zanthoxylum*, *Celastrus*,and *Actinidia* are the dominant genera in quantity. Among the life forms, there are 122 species of woody plants and 49 species of herbaceous plants, woody plants

---

基金项目：科技部国家科技基础性专项重点项目子课题(2008FY110400-1-9)；湖南省高校产业化项目（10CY010）[Supported by Subjects of the National Foundation of Science and Technology Special Key Project of the Ministry of Science and Technology (2008 FY110400-1-9); Industrialization Project of Universities and Colleges in Hunan Province (10CY010)]。

作者简介：王冰清（1994-），女，湖南常德人，硕士研究生，主要研究方向为植物资源生态学，(E-mail) 1364240839@qq.com。

通信作者：陈功锡，教授，主要从事植物分类学、植物生态学与植物资源学研究工作，(E-mail) chengongxi2011@163.com。

are dominant. There are 90 kinds of middle and high content linolenic acid plants, accounting for 52.63% of the total number of linolenic acid plants. This group of linolenic acid is rich in content and has great utilization value. The linolenic acid plants rich in Xiangxi region mainly distributed in the middle and low mountains and hills in the north-central part of Xiangxi region, with an altitude of 300-1 100 m, and the most abundant in the range of 600-800 m. Through Analytic Hierarchy Process, Eleven kinds of linolenic acid plants suitable for the development of Xiangxi region were selected. This is *Actinidia chinensis* var. *deliciosa*, *Actinidia chinensis*, *Elsholtzia ciliate*, *Agastache, rugosa*, *Zanthoxylum echinocarpum*, *Eucommia ulmoides*, *Celosia argentea*, *Perilla frutescens*, *Geum aleppicum* and *Perilla frutescens* var. *crispa*.

Key words: linolenic acid, plant resources, investigation and analysis, analytic hierarchy Process, comprehensive evaluation, Xiangxi region

亚麻酸（linolenic acid）是指含三个双键的十八碳不饱和脂肪酸，其中绝大多数为α-亚麻酸和γ-亚麻酸，同时也包括少量其他异构体（由于其所涉及类群较少，且含量低不易检测和分离，为便于统计分析本文也将其纳入亚麻酸的范畴），其性状为淡黄色油状液体，是构成人体组织细胞的主要成分，在人体内能代谢转化为机体所必需的生命活性因子 DHA 和 EPA，对维持人体的正常生命活动具有至关重要的作用（Christon et al. , 1995；Lloyd-jones et al. , 2005；高大文，2009）。亚麻酸作为人体必需营养素之一，常以甘油酯的形式存在于绿色植物的果实、种子内，日常膳食中的食用油，如菜籽油、豆油、葵花子油、玉米油等食用油，是不饱和脂肪酸(如油酸、亚油酸)的主要来源，但亚麻酸的含量很少，只有亚麻籽、紫苏籽、火麻仁、核桃等极少数的食物中含有丰富的亚麻酸及其衍生物（尤丽菊和刘国玲，2011），显然可供开发利用的亚麻酸原料植物资源严重不足。随着社会的进步，人们对品质生活的需求越来越浓烈，对亚麻酸的需求量也越来越大，因此很有必要寻找更多含有亚麻酸的原料植物资源。

湘西地区地处武陵山区核心区域，是我国植物多样性最为丰富的地区之一，同时也是我国亚麻酸植物的重要产区，亚麻酸植物开发利用空间较大。目前，对湘西地区亚麻酸资源植物的研究还很少，仅出于开发应用实际需要对猕猴桃、杜仲、花椒、枳椇等少数物种中的亚麻酸资源进行了研究以外（麻成金等，2005；李加兴等，2010；吴丽雅等，2013；赵虹桥和卢成瑛，2011），针对湘西地区亚麻酸植物资源的系统调查研究还尚未开展。并且由于湘西地区各地植物的分布不均衡，不同植物中亚麻酸含量存在差异，大量亚麻酸资源植物甚至尚未被充分认识到，更谈不上利用和发展产业了。所以，进一步弄清楚亚麻酸植物资源在湘西的分布特点以及含量情况，综合评价筛选出优质高效并适合在该地区开发利用的亚麻酸资源植物种类，为大力发展亚麻酸资源健康产业、促进地方脱贫致富提供科学依据服务，就显得十分必要和迫切。

1 材料与方法

1.1 湘西地区自然环境概况

本文中的湘西地区仅指湘西自治州，州内辖保靖、凤凰、古丈、花垣、吉首、龙山、泸溪、永顺八个县市，位于湖南省西北部，地理位置 109°10′—110°22.5′ E， 27°44.5′—29°38′ N，亦为湘鄂渝黔四省市交界之地。该州地势南东低、北西高，属中国由西向东逐步降低第二阶梯之东缘，武陵山脉由北东向南西斜贯全境，平均海拔 800~1 200 m，最高海拔为西北边境龙山县的大灵山海拔 1 736.5 m，最低海拔为泸溪县大龙溪出口河床海拔 97.1 m（张艺婕，2018）。全州气候属亚热带季风湿润气候区，具有明显的亚热带季风气候特征，既水热同季，暖湿多雨，又冬暖夏凉，四季分明，降水充沛。年平均气温 15~16.9 ℃，最高气温 40.5 ℃，最低气温零下 5.5 ℃。年降雨量 1 300~1 500 mm，无霜期 250~280 d，孕育了丰富的植物资源（陈功锡等，2015），亚麻酸资源植物开发空间较大。

1.2 亚麻酸资源植物调查

采取野外实地调查与文献资料调查（中国油脂植物编写委员会，1987；邓阳陵，2007；陈功锡等，2016）相结合的方法，对湘西州生物多样性重点保护区域，如自然保护区、森林公园、地质公园、湿地公园、国有林场等植被保护较好的地区的含油植物进行重点调查，详细记录其种类、分布、生境、蕴藏量等信息，并采集植物标本及含油器官（主要为果实、种子）进行油脂相关指标测定，包括测定油脂含量、油脂不饱和脂肪酸组成。参照陈功锡等（2016）的做法，将植物含油器官中油脂含量≥10%，且油脂脂肪酸组成中亚

麻酸资源含量≥10%的植物界定为湘西地区亚麻酸资源植物，以实地调查和实验测定结果为依据，并查阅历史文献资料（中国油脂植物编写委员会，1987；邓阳陵等，2007；陈功锡等，2016；赵虹桥等，2006；麻成金等，2005）对湘西地区亚麻酸资源植物名录进行补充，参照《中国植物志》（中国科学院中国植物志编辑委员会，1978-1999）、《湖南植物志》（湖南植物志编辑委员会编，2000）、《湖南种子植物总览》（祁承经和喻勋林，2002）等文献按恩格勒分类系统整理编制湘西地区亚麻酸资源植物名录，并进行系统整理与分析，运用 Excel 2010 软件对其进行分析整理和图表绘制。

1.3 亚麻酸资源植物综合评价

层次分析法（AHP）是基于定性与定量分析相结合的综合评价方法，近年来广泛应用于景观价值（黄启堂等，1997）、资源优选（李梅春，2004）、品种性状（唐东芹等，1998）、观赏价值（吴丽华，2003）等方面，正逐渐成为资源评价的常用方法。考虑到未来亚麻酸资源产业化实际需要，本文特选取植物含油器官含油量与油中亚麻酸含量均在 20%以上的物种作为综合评价对象，采用层次分析法进行综合评价，拟筛选出一批适合在湘西地区大规模开发利用的亚麻酸资源植物。

1.3.1 综合评价体系的构建

为了筛选出适合湘西地区开发利用的亚麻酸资源植物，根据湘西地区亚麻酸资源植物调查分析结果，特从亚麻酸植物的生长特性、油脂特性、开发利用潜能三个方面挑选出 10 项相关评价指标，建立由目标层、准则层、子准则层、方案层组成的综合评价体系，构建出如表 1 所示层次结构模型，评分标准见表 2，其中单株结实量以野外采集记录为依据；分布范围结合野外采集记录及文献资料记载；繁殖能力、抗逆性、资源储量以文献资料记载为依据；开发利用程度通过走访当地专家百姓并结合资料记载；毒害程度、油脂含量、亚麻酸含量、不饱和脂肪酸含量以实验测定及文献资料记载为依据。

表 1 综合评价层次结构模型

Table 1 Hierarchical model for comprehensive evaluation

目标层 A Target layer A	准则层 B Criteria layer B	子准则层 C Sub-criteria layer C	方案层 D Plan layer D
湘西地区亚麻酸资源植物综合评价 A Comprehensive evaluation and screening	生长特性 B_1 Growth characteristics	单株结实量 Seed yield C_1	待评价的物种 Species D_1,D_2,D_3…
		繁殖能力 Reproductive capacity C_2	
		抗逆性 Resistance C_3	
		分布范围 Distribution rangeC_4	
	油脂特性 B_2 Oil characteristics	油脂含量 Oil content C_5	
		毒害程度 Degree of toxicityC_6	
		不饱和脂肪酸含量 Unsaturated fatty acid content C_7	
		亚麻酸含量 Linolenic acid content C_8	
	开发利用潜能 B_3 Development and utilization of potential	资源储量 Resource reserves C_9	
		利用程度 Degree of utilization C_{10}	

表 2 湘西地区亚麻酸资源植物评分标准

Table 2 Plants scoring criteria for linolenic acid resources in Xiangxi

评价指标 Evaluating indicator	分值 Score				
	10	8	6	4	2
单株结实量 Seed setting	极高 Very high	高 High	中 Medium	低 Low	极低 Very low
分布范围 Distribution range	极广 Extremely wide	较广 Broader	一般 Medium	较窄 Narrow	零星 Sporadic
繁殖能力 Reproductive capacity	极易繁殖 Extremely easy to reproduce	较易繁殖 Easy to reproduce	正常繁殖 Normally to reproduce	较难繁殖 Harder to reproduce	极难繁殖 Extremely difficult to reproduc
抗逆性 Resistance	耐旱、寒、水、贫瘠、	前 5 项，占任意 4	前 5 项，占任意 3	前 5 项，占任意 2	前 5 项，占任意 1

	盐碱 Resistant Drought, cold, water, barrenness, saline and alkali	项 Four of the first five items	项 Three of the first five items	项 Two of the first five items	项 One of the first five items
毒害程度 Degree of toxicity	无毒害 Non-toxic	毒害较小 Less toxicity	毒害一般 Medium toxicity	毒害较大 Higher toxicity	毒害极大 Very poisonous
油脂含量 Oil content	≥60%	50%~60%	40%~50%	30%~40%	＜30%
不饱和脂肪酸含量 Unsaturated fatty acid content	≥90%	80%~90%	70%~80%	60%~70%	＜60%
亚麻酸含量 Linolenic acid content	≥60%	50%~60%	40%~50%	30%~40%	＜30%
资源储量 Resource reserves	储量丰富 Rich	储量较多 More	储量一般 Medium	储量较少 Less	储量极少 Very few
利用程度 Degree of utilization	尚未开发 Uncultivated	较少 Less	小范围 Medium	较多 More	普遍 Universal

1.3.2 判断矩阵的构造及总权重的确定

首先对综合评价体系各层次的评价指标进行重要性分析，采用 Saaty1~9 标度法，通过查阅大量文献资料（程昕，2016；鲁梦莹，2018；张育恺，2016），并结合本地实际情况，经课题组专家评议最终确定出各层次间评价指标两两的重要性，通过 yaahp 层次分析软件辅助构造出 A-B，B_1-C，B_2-C，B_3-C 等 4 个相邻层次间的判断矩阵，对其进行一致性检验（若一致性比率 CR＜0.1，即判断矩阵通过一致性检验），4 个判断矩阵的一致性比率 CR 均小于 0.1，因此所构造的判断矩阵都具有满意的一致性，最终得出各项评价指标对目标层的总权重 W，见表 3。

表 3 亚麻酸资源植物综合评价指标总权重

Table 3 Total weight of comprehensive evaluation indicators for plants of linolenic acid resources

目标层 A Target layer A	准则层 B Criteria layer B	准则层权重 Criteria layer weight	一致性比率 Consistency ratio	次准则层 C Sub-criteria layer C	次准则层权重 Subcriterion layer weight	一致性比率 Consistency ratio	总权重 W Total weight
综合评价筛 A Comprehensive evaluation and screening	生长特性 B1 Growth characteristics	0.201 4	0.023 8	单株结实量 C_1 Seed yield	0.417 0	0.017 2	0.084 0
				繁殖能力 C_2 Reproductive capacity	0.250 2		0.050 4
				抗逆性 C_3 Resistance	0.222 4		0.044 8
				分布范围 C_4 Distribution range	0.110 5		0.022 3
	油脂特性 B2 Oil characteristics	0.680 6		油脂含量 C_5 Oil content	0.341 1	0.017 2	0.232 2
				毒害程度 C_6 Degree of toxicity	0.090 5		0.061 6
				不饱和脂肪酸含量 C_7 Unsaturated fatty acid content	0.204 6		0.139 3
				亚麻酸含量 C_8 Linolenic acid content	0.363 8		0.247 6
	开发利用潜能 B3	0.117 9		资源储量 C_9	0.666 7	0.000 0	0.078 6

Development and utilization of potential	Resource reserves 利用程度 C_{10} Degree of utilization	0.333 3	0.039 3

1.3.3 综合评价总评分的计算

按照公式 $T=\sum_{i=1}^{n} S\times W$ （式中，T 为综合评价总评分，S 为评价指标评分，W 为评价指标总权重，n 为评价指标数目） 计算各物种综合评价总评分。

2 结果与分析

2.1 湘西亚麻酸资源植物的调查分析

2.1.1 湘西亚麻酸资源植物优势类群统计

根据实地与文献调查结果结合室内实验测定结果，确定湘西地区共有亚麻酸资源植物（植物含油器官含油量≥10%、油脂肪酸中亚麻酸含量≥10%）64 科、128 属、171 种，其中裸子植物 5 科，7 属，7 种，被子植物 59 科，121 属，164 种。进一步对湘西亚麻酸资源植物的科属结构分析发现，亚麻酸资源植物不均匀分布于各科、属中，有些科、属所含的种类比较丰富，而有些科、属相对匮乏，总体来看亚麻酸资源植物主要分布在常见的几个含油大科、大属中。从科级层面看，亚麻酸资源植物主要分布在芸香科(Rutaceae)（14 种）、大戟科(Euphorbiaceae)（11 种）、豆科(Leguminosae)（10 种）、唇形科(Lamiaceae)（10 种）、蔷薇科(Rosaceae)（9 种）、十字花科(Brassicaceae)（7 种）、樟科(Lauraceae)（6 种）、卫矛科(Celastraceae)（6 种）等科中，这些科共有亚麻酸资源植物 73 种，是湘西地区亚麻酸资源植物数量优势科，此结果与肖佳伟等（2016）关于中国亚麻酸资源植物主要分布类群的规律相符；从属级层面看，花椒属(*Zanthoxylum*)分布最多，有 9 种，其次为南蛇藤属(*Celastrus*)，有 6 种，猕猴桃属(*Actinidia*)有 4 种，这几个属为湘西地区亚麻酸资源植物数量优势属。显然，通过分析湘西地区亚麻酸资源植物优势类群，可为寻找湘西地区亚麻酸原料植物资源提供参考依据。

2.1.2 湘西亚麻酸资源植物生活习性分析

生活习性是长期适应所在环境而在结构、形态外貌上的表现，高等植物根据其对环境的适应性可表现为乔木、灌木、藤本、草本。为了更好地对湘西地区亚麻酸资源植物进行统计分析，根据其生活习性进行归类，初步划分为乔木、灌木、藤本、草本 4 大类，根据研究目的，可将藤本进一步细分为木质藤本和草质藤本，见表 4。

由表 3 可知，湘西地区亚麻酸资源植物中，共有乔木 49 种，占该区亚麻酸资源植物总种数的 28.65 %，代表植物如刺柏(*Juniperus formosana*)、杨梅(*Myrica rubra*)、杜仲(*Eucommia ulmoides*)等；灌木 58 种，占亚麻酸植物总种数的 33.92 %，代表植物如新木姜子(*Neolitsea aurata*)、刺壳花椒(*Zanthoxylum echinocarpum*)、花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)等；藤本 25 种，占亚麻酸植物总种数的 14.62 %，其中木质藤本 15 种，代表植物如三叶木通(*Akebia trifoliata*)、南蛇藤(*Celastrus orbiculatus*)、美味猕猴桃(*Actinidia chinensis*)等，草质藤本 10 种，代表植物如木鳖子(*Momordica cochinchinensis*)、栝楼(*Trichosanthes kirilowii*)、轮叶沙参(*Adenophora tetraphylla*)等。草本 39 种，占亚麻酸植物总种数的 22.80 %，代表植物如刺苋(*Amaranthus spinosus*)、青葙(*Celosia argentea*)、紫苏(*Perilla frutescens*)等。总体来看，湘西地区亚麻酸资源植物种类以木本植物具多，共 122 种，占该地区亚麻酸资源植物总种数的 71.35 %，其次是草本植物，共 49 种，占该地区亚麻酸资源植物总种数的 28.65 %，木本植物占绝对优势。这可能与湘西地区的气候条件有关，湘西地区属于亚热带季风气候，水热同季，降水充沛，暖湿多雨，这种气候条件下植物为适应环境主要表现为高位芽植物，因此亚麻酸植物中木本占极大多数。

表 4 湘西地区亚麻酸资源植物生活习性统计

Table 4 Statistics of life forms of linolenic acid plants in Xiangxi

生活习性 Life forms	种数 No. of species	占总种数比例

			Percentage (%)
木本植物 Woody plants	乔木 Tree	49	28.65
	灌木 Shrub	58	33.92
	木质藤本 Woody liane	15	8.77
草本植物 Herbs plants	草质藤本 Herbaceous liane	10	5.85
	草本 Herbaceous	39	22.80
总 计 Total		171	100.00

2.1.3 湘西亚麻酸资源植物亚麻酸含量等级分析

为了更清楚地了解各植物类群中亚麻酸的含量情况，为开发利用提供科学依据，在此将湘西地区亚麻酸资源植物按其含油量与油中亚麻酸含量具体划分为三个等级：高含量亚麻酸植物（含油量且亚麻酸含量≥30%）、中等含量亚麻酸植物（20%≤含油量且亚麻酸含量≤30%）、低含量亚麻酸植物（含油量或亚麻酸含量＜20%），结果如表 5 所示。

表 5 湘西地区亚麻酸资源植物中亚麻酸含量等级

Table 5 Linolenic acid content grade of linolenic acid plants in Xiangxi

级别 Level	种数 No. of species	占总种数比例 Percentage (%)	代表植物 Representative plants
高含量 High content	90	52.63	刺壳花椒、中华猕猴桃、香薷等 *Zanthoxylum echinocarpum*, *Actinidia chinensis*, *Elsholtzia ciliate*, etc.
中等含量 Middle content	74	43.27	刺苋、青葙、杜仲等 *Celosia argentea*, *Eucommia ulmoides*, *Amaranthus spinosus*, etc.
低含量 Low content	7	4.09	臭牡丹、大八角、花椒等 *Clerodendrum bungei*, *Illicium majus*, *Zanthoxylum bungeanum*, etc.
合 计 Total	171	100.00	

由表 5 可知，统计的 171 种湘西地区亚麻酸资源植物中，高含量亚麻酸植物有 33 种，占湘西亚麻酸植物总种数的 19.30%，其中紫楠含油量高达 59.40 %，亚麻酸含量达到 60.04 %，是最具有开发利用价值的亚麻酸植物，其次刺壳花椒(含油量 38.45%，亚麻酸含量 63.10%；下同)、中华猕猴桃(*Actinidia chinensis*)(35.00 %，62.90 %)、香薷(*Elsholtzia ciliata*)(35.50 %，60.00 %)等类群也具有较大的开发利用价值；中等含量亚麻酸植物有 57 种，占湘西总亚麻酸植物的 33.33%，代表植物有刺苋(*Amaranthus spinosus*)(20.96 %，48.89 %)、青葙(*Celosia argentea*)(22.80 %，60.73 %)、杜仲(*Eucommia ulmoides*)(28.00 %，64.10 %)等；低含量亚麻酸植物有 81 种，占湘西总亚麻酸植物的 47.37%，代表植物有臭牡丹(*Clerodendrum bungei*)(17.60%，21.60%)、大八角(*Illicium majus*)(22.15 %，15.48 %)、花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)(23.90 %，13.68 %)等。湘西地区亚麻酸资源植物中，中高含量亚麻酸植物共有 90 种，占总亚麻酸植物的 52.63 %，超过湘西地区亚麻酸资源植物的半数。这部分植物中的含油量及油中亚麻酸含量都比较高，是亚麻酸产业开发首要考虑的原料资源植物，具有较大的开发利用潜力，值得进一步深入研究和开发。

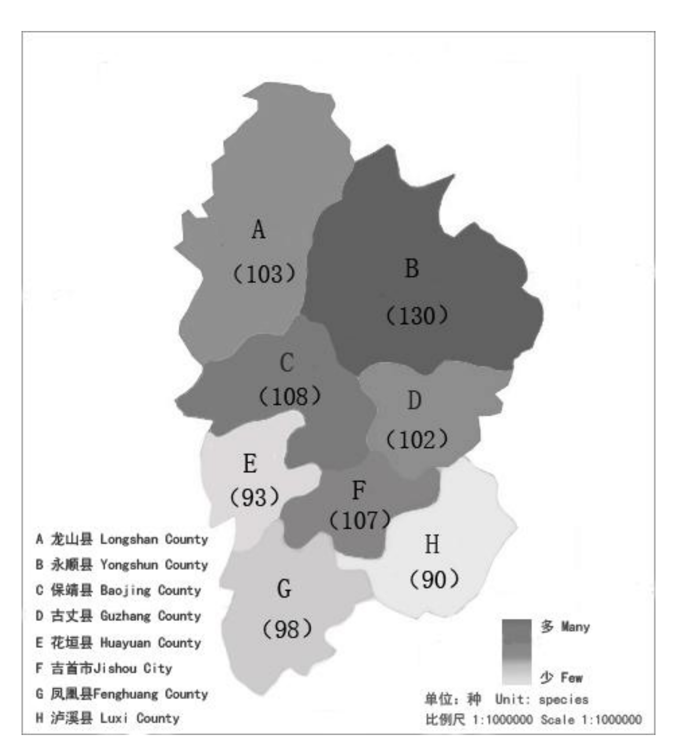
2.1.4 湘西亚麻酸资源植物分布格局

通过分析亚麻酸资源植物在湘西地区的分布格局，弄清亚麻酸资源植物的分布规律，有利于为亚麻酸资源植物的开发利用提供参考依据。由于栽培种并不能体现资源的自然分布规律，故在分析时将湘西地区 171 种亚麻酸资源植物中的 23 个栽培种予以剔除，只对 148 个野生种进行统计。

2.1.4.1 水平分布

对湘西地区 171 个物种中 148 种野生亚麻酸资源植物的主要分布地区进行统计汇总，水平分布如图 1

所示，其富油高产物种水平分布如图 2 所示。



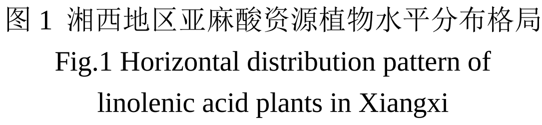

图 1 湘西地区亚麻酸资源植物水平分布格局

Fig.1 Horizontal distribution pattern of linolenic acid plants in Xiangxi

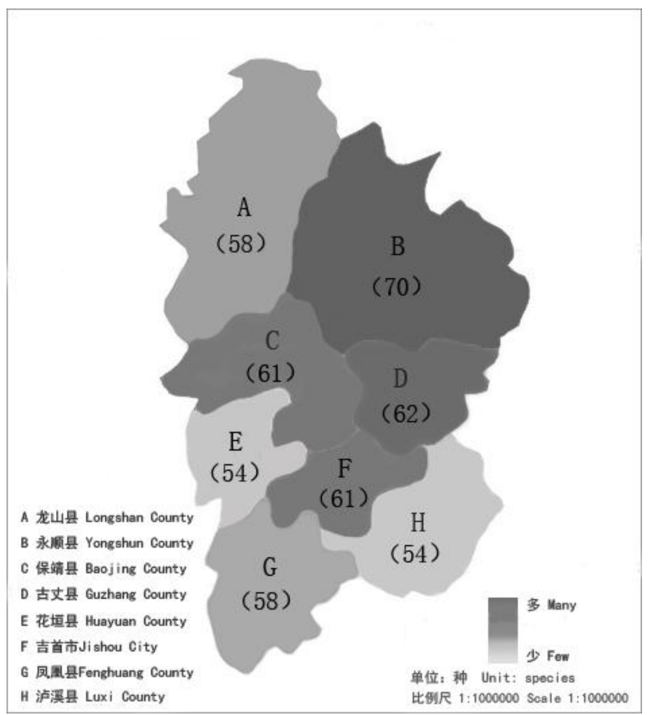


图 2 富油高产物种水平分布格局

Fig.2 Horizontal distribution pattern of oil-rich and high-yield species

根据统计可知，各亚麻酸资源物种在湘西地区的水平分布不均匀，各县市种类存在一定差异，且亚麻酸资源植物的高产物种区域分布较为集中。由图 1，图 2 可知，分布于永顺县的亚麻酸资源植物种类最多，达 130 种，其中富含亚麻酸资源植物（含油量且亚麻酸含量≥20 %）70 种，占该区亚麻酸资源植物总种数的 47.30 %；其次为保靖县，有 108 种，其中富含亚麻酸资源植物 61 种，占该地区亚麻酸资源植物总种数的 41.22 %；再次为吉首市，有 107 种，其中富含亚麻酸资源植物 61 种，占该地区亚麻酸资源植物总种数的 41.22 %；龙山县有 103 种，其中富含亚麻酸资源植物 58 种，占该地区亚麻酸资源植物总种数的 39.20 %；古丈县有 102 种，其中富含亚麻酸资源植物 62 种，占该地区亚麻酸资源植物总种数的 41.89 %；凤凰有 98 种，其中富含亚麻酸资源植物 58 种，占该地区亚麻酸资源植物总种数的 39.20 %；花垣有 93 种，其中富含亚麻酸资源植物 54 种，占该地区亚麻酸资源植物总种数的 36.49 %；分布于泸溪县的亚麻酸资源植物种类最少，只有 90 种，其中富含亚麻酸资源植物 54 种，占该地区亚麻酸资源植物总种数的 36.49 %。

以区位来看，湘西地区亚麻酸资源植物主要分布在湘西州中北部县市，而其中富含亚麻酸资源植物等高产富油种主要集中分布在湘西州中部各县市，如永顺（70 种）、古丈（62 种）、保靖（61 种）、吉首（61 种）。这些县市亚麻酸资源植物种类较多，且大多数植物中含油量与亚麻酸含量普遍较高的原因可能与优越的自然环境加上特殊的地理位置有关。这些县市皆处于武陵山区核心区域，气候环境条件优渥，保存着完整的低海拔常绿阔叶原始次生林，如永顺县拥有小溪国家级自然保护区，保靖县拥有白云山国家级自然保护区，古丈县拥有高望界国家级自然保护区，吉首市拥有德夯国家级风景名胜区、矮寨国家级森林公园等。由于自然保护区、风景名胜区、森林公园等地区被人为破坏的较少，植被保存完整，沟谷河流众多，生境复杂、特殊的生境地貌往往孕育着很多特殊的资源植物，包括亚麻酸资源植物，优越的自然环境条件不仅适合亚麻酸资源植物的生长，同时也适合植物中含油量与亚麻酸含量的富集。由此可看出，自然保护区、风景名胜区、森林公园等生境复杂特殊的区域，是湘西地区亚麻酸资源植物分布较为集中的区域，同时也是湘西地区亚麻酸资源植物的富油高产区，三者之间存在一定的相互关联特性。

2.1.4.2 垂直分布

亚麻酸资源植物在湘西境内的海拔分布范围非常广，从最低海拔的泸溪县大龙溪出口河床（97.1 m）到最高海拔的龙山县大灵山（1 736.5 m）均有分布。为进一步揭示其在湘西随海拔梯度变化的分布规律，

特对 171 个物种中的 148 种野生亚麻酸资源植物的垂直分布情况进行统计，结果如图 3 所示（以 100 m 作为一个海拔梯度进行统计）。

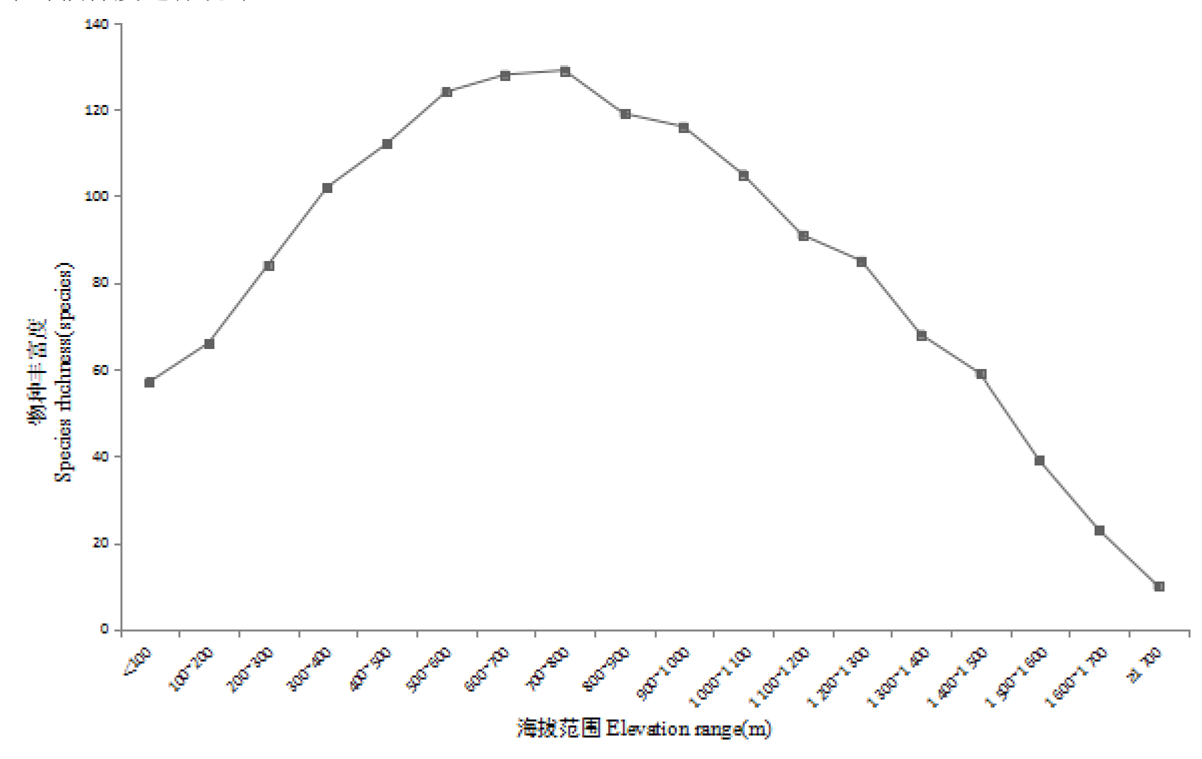


图 3 湘西地区亚麻酸资源植物垂直分布格局

Fig.3 Vertical distribution patterns of linolenic acid resources plants in Xiangxi

由图 3 可知，湘西地区亚麻酸资源植物的海拔分布呈现出单峰形态，植物的丰富度在低海拔地区随着海拔的升高而升高，在海拔 700~800 m 范围内，亚麻酸植物物种丰富度最大，达到 129 种，占湘西亚麻酸植物总数的 87.16 %；当海拔超过 800 m 后，随着海拔的升高，亚麻酸植物物种丰富度逐渐降低。这与肖佳伟等（2016）关于中国亚麻酸资源植物的垂直分布规律基本一致，但也略有差异，即：湘西地区亚麻酸资源植物在海拔 700~800 m 范围内最为丰富，在海拔 1 700 m 附近趋近于 0；而中国亚麻酸资源植物在海拔 800~900 m 范围内最为丰富，海拔 4 000 m 附近趋近于 0。这可能是由于湘西地区特殊的地理位置和自然环境，海拔范围较全国狭窄所致。湘西地区亚麻酸植物主要集中在海拔 300~1 100 m 范围内的中低山地与丘陵地区，该区以红壤、黄壤为主，阳光充足，降水充沛，适合亚麻酸植物生长。亚麻酸植物种类丰富，生活型复杂，不仅有乔木，还有灌木、藤本、草本，代表植物如刺柏(*Juniperus formosana*)、新木姜子(*Neolitsea aurata*)、花椒簕(*Zanthoxylum scandens*)、刺苋(*Amaranthus spinosus*)等。而 1 600 m 以上的高海拔地区亚麻酸资源植物则分布较少，只有 33 种，仅占湘西亚麻酸植物总数的 22.30%，主要以乔木和灌木为主，代表植物如华山松(*Pinus armandii*)、大八角(*Illicium majus*)、小漆树(*Toxicodendron delavayi*)、小叶女贞(*Ligustrum quihoui*)等。这可能是由于高海拔地区，温度常年较低，不太适合亚麻酸植物的生长，也可能是由于常年的低温环境影响了亚麻酸在植物体内的累积。

2.2 湘西亚麻酸资源植物的综合评价筛选

根据调查结果，结合表 2 的评分标准与表 3 的评价指标权重，通过综合评分公式，对 90 种含油量及亚麻酸含量均≥20%的中高含量亚麻酸资源植物进行综合评分，最终可将湘西地区亚麻酸资源植物开发利用等级分为 4 个等级，综合评分为 7 分以上的定为I级；综合评分为 6~7 分的定位II级；5~6 分的定位III级；5 分以下的定位IV级，评分结果见表 6。

表 6 亚麻酸资源植物的综合得分

Table 6 Comprehensive Scores of Linolenic Acid Resources Plants

物种 Species	单株结实量 Seed yield	繁殖能力 Reproductive capacity	抗逆性 Resistance	分布范围 Distribution range	油脂含量 Oil content	毒害程度 Degree of toxicity	不饱和脂肪酸含量 Unsaturated fatty acid content	亚麻酸含量 Linolenic acid content	资源储量 Resource reserves	利用程度 Degree of utilization	总得分 Total score	利用等级 Utilization level
美味猕猴桃 *Actinidia chinensis* var. *deliciosa*	8	8	8	10	4	10	10	10	10	4	8.013 6	I
中华猕猴桃 *Actinidia chinensis*	8	8	8	10	4	10	10	10	10	4	8.013 6	I
香薷 *Elsholtzia ciliata*	8	10	6	8	4	8	10	10	8	8	7.857 0	I
藿香 *Agastache rugosa*	8	10	8	10	4	8	8	10	8	8	7.712 6	I
刺壳花椒 *Zanthoxylum echinocarpum*	6	8	8	10	4	8	8	10	8	8	7.443 8	I
杜仲 *Eucommia ulmoides*	6	8	10	10	2	10	10	10	8	6	7.392 2	I
青葙 *Celosia argentea*	8	8	8	10	2	8	10	10	6	8	7.268 8	I
紫苏 *Perilla frutescens*	8	10	8	10	4	10	8	8	8	6	7.262 0	I
路边青 *Geum aleppicum*	8	10	10	8	2	8	10	8	8	10	7.155 2	I
回回苏 *Perilla frutescens* var.*crispa*	10	10	10	10	2	10	8	8	8	8	7.133 8	I
独行菜 *Lepidium apetalum*	8	10	10	10	2	10	8	8	8	10	7.044 4	I
紫楠 *Phoebe sheareri*	4	4	4	6	8	8	6	10	4	4	6.984 4	II
落花生 *Arachis hypogaea*	4	4	4	4	8	10	8	8	6	2	6.925 0	II
盐肤木 *Rhus chinensis*	6	6	6	10	2	8	10	10	6	8	6.910 4	II
飞蛾槭 *Acer oblongum*	6	4	6	4	4	8	8	10	6	8	6.861 6	II
杨梅 *Myrica rubra*	4	6	8	8	2	10	10	10	8	2	6.832 0	II
狼杷草 *Bidens tripartita*	4	8	8	4	4	8	8	10	4	8	6.827 6	II
播娘蒿 *Descurainia sophia*	8	10	10	10	4	10	10	4	8	10	6.797 0	II
构树 *Broussonetia papyrifera*	6	10	10	10	4	2	4	10	8	8	6.707 4	II
叶下珠 *Phyllanthus urinaria*	6	6	6	10	4	8	6	10	4	8	6.660 4	II
花椒簕 *Zanthoxylum scandens*	8	6	8	4	4	8	8	8	6	6	6.646 2	II
川鄂连蕊茶 *Camellia rosthorniana*	8	6	6	4	4	8	8	8	6	8	6.635 2	II
雷公鹅耳枥 *Carpinus viminea*	6	6	6	4	2	8	10	10	4	8	6.619 4	II
接骨木 *Sambucus williamsii*	10	10	10	10	4	10	8	4	8	8	6.607 8	II

檀梨 *Pyrularia edulis*	8	8	10	2	10	8	4	4	4	8	6.559 0	II
光叶山矾 *Symplocos lancifolia*	6	6	6	10	2	8	8	10	4	8	6.474 6	II
薄荷 *Mentha canadensis*	6	10	10	10	2	8	10	6	8	8	6.458 0	II
白木乌桕 *Sapium japonicum*	8	8	8	10	8	8	8	2	6	8	6.402 6	II
蓖麻 *Ricinus communis*	6	10	8	8	8	4	8	4	6	4	6.382 4	II
光叶海桐 *Pittosporum glabratum*	6	4	6	4	2	8	8	10	6	6	6.318 6	II
野扇花 *Sarcococca ruscifolia*	4	6	6	10	4	8	8	8	4	8	6.275 8	II
毛叶石楠 *Photinia villosa*	6	6	4	10	8	10	8	2	8	8	6.235 0	II
狗尾草 *Setaria viridis*	6	8	8	10	4	8	8	6	6	6	6.217 6	II
楝 *Melia azedarach*	4	6	6	6	2	6	8	10	6	6	6.172 8	II
蜡瓣花 *Corylopsis sinensis*	6	8	6	4	4	8	6	8	4	8	6.132 2	II
荔枝草 *Salvia plebeia*	8	10	8	10	2	8	8	6	6	8	6.100 6	II
南蛇藤 *Celastrus orbiculatus*	6	6	6	10	8	4	6	4	6	8	6.014 4	II
光枝勾儿茶 *Berchemia polyphylla* var. *leioclada*	6	6	6	4	2	8	6	10	4	6	5.983 6	III
丝瓜 *Luffa cylindrica*	8	6	6	8	2	8	6	8	8	4	5.981 4	III
秋枫 *Bischofia javanica*	4	6	6	10	2	8	8	8	6	8	5.968 6	III
白花龙 *Styrax faberi*	6	6	6	4	2	8	4	10	6	8	5.940 8	III
金剑草 *Rubia lanceolata*	4	8	6	4	6	8	6	6	4	8	5.933 4	III
山鸡椒 *Litsea cubeba*	6	8	8	10	6	8	2	6	8	4	5.924 8	III
刺苋 *Amaranthus spinosus*	4	6	8	10	2	8	10	6	6	8	5.841 6	III
黄檗 *Phellodendron amurense*	6	8	8	10	2	8	8	6	6	6	5.753 2	III
新木姜子 *Neolitsea aurata*	6	6	6	10	8	8	2	4	6	6	5.625 0	III
三叶木通 *Akebia trifoliata*	8	4	6	10	4	8	8	4	6	6	5.599 2	III
小叶石楠 *Photinia parvifolia*	6	6	4	10	4	10	10	2	8	8	5.584 8	III
两型豆 *Amphicarpaea edgeworthii*	4	8	6	4	2	10	8	6	6	8	5.563 6	III
粉椴 *Tilia oliveri*	6	6	6	4	2	8	8	6	6	8	5.507 6	III
北美独行菜 *Lepidium virginicum*	8	8	8	10	2	8	8	4	6	8	5.504 6	III
华山松 *Pinus armandii* var. *armandii*	6	8	6	10	6	10	4	2	8	8	5.403 8	III
臭檀吴萸 *Evodia daniellii*	8	8	8	6	4	8	8	2	6	8	5.384 6	III

山茱萸 *Cornus officinale*	6	8	6	10	4	8	6	4	6	6	5.354 2	III
青江藤 *Celastrus hindsii*	4	6	6	10	8	4	6	2	6	8	5.351 2	III
短梗南蛇藤 *Celastrus rosthornianus*	6	6	6	8	2	4	8	6	6	8	5.350 4	III
三桠乌药 *Lindera obtusiloba*	4	6	6	10	6	8	4	4	6	8	5.349 8	III
虎皮楠 *Daphniphyllum oldhami*	8	8	6	10	2	8	8	4	6	6	5.336 4	III
香椿 *Toona sinensis*	8	8	6	10	4	8	8	2	6	6	5.305 6	III
吴茱萸 *Evodia rutaecarpa*	6	8	6	10	4	8	8	2	8	6	5.294 8	III
砚壳花椒 *Zanthoxylum dissitum*	6	8	6	10	4	10	4	4	6	8	5.277 4	III
无花果 *Ficus carica*	4	8	6	6	4	10	8	4	4	4	5.263 0	III
牡丹 *Paeonia suffruticosa*	6	8	6	6	2	10	10	4	4	4	5.245 2	III
青花椒 *Zanthoxylum schinifolium*	8	6	6	6	4	10	8	2	6	6	5.238 8	III
沙梨 *Pyrus pyrifolia*	10	8	6	10	2	10	8	2	8	4	5.211 0	III
狗骨柴 *Tricalysia dubia*	6	6	6	10	2	8	6	6	4	6	5.127 0	III
菝葜 *Smilax china*	6	6	6	10	2	8	6	6	4	6	5.127 0	III
麻栎 *Quercus acutissima*	4	4	6	10	2	10	6	6	4	8	5.060 0	III
一串红 *Salvia splendens*	6	8	6	6	2	10	8	4	4	6	5.045 2	III
圆叶乌桕 *Sapium rotundifolium*	8	8	6	4	4	8	8	2	4	6	5.014 6	III

注：IV级植物由于作为亚麻酸资源植物开发利用价值较低，故在此表中不列出。

Note: Level IV plants are not listed in this table because of their low value in development and utilization as linolenic acid resources.

由表 6 可知，90 种亚麻酸资源植物中，综合评分在 7 以上的有 11 种，分别为美味猕猴桃、中华猕猴桃、香薷、藿香、刺壳花椒、杜仲、青荆、紫苏、路边青、回回苏、独行菜，这 11 种植物无论是从生长特性、油脂特性，还是开发利用潜能方面都表现极其优秀，具有较大的开发利用价值，是湘西地区I级开发利用亚麻酸资源植物。综合评分在 6~7 之间的有 26 种，为II级开发利用植物，代表植物如播娘蒿、白木乌桕、檀梨、接骨木等，这部分植物也具有较大的开发利用价值，但是在生长特性或油脂特性或开发利用潜能这三个方面可能部分有所欠缺，可根据实际情况进行开发利用；综合评分在 5~6 之间的有 33 种，为III级开发利用植物，代表植物如白花龙、山茱萸、菝葜、虎皮楠等，这部分植物可选择表现良好的方面进行开发利用；综合评分在 5 分以下的有 20 种，为IV级开发利用植物，这部分植物开发利用价值较低，暂不适合作为亚麻酸资源植物开发利用，但其作为亚麻酸资源植物多样性的组成部分，也应受到相应的重视。通过对湘西地区亚麻酸资源植物进行系统的筛选评价，共筛选出 11 种优质高效并适合在湘西地区开发利用的亚麻酸资源植物，分别为美味猕猴桃、中华猕猴桃、香薷、藿香、刺壳花椒、杜仲、青荆、紫苏、路边青、回回苏、独行菜。

3 结论

3.1 湘西地区亚麻酸植物资源的基本特点

（1）种类丰富、类群复杂。湘西共有亚麻酸资源植物 64 科 128 属 171 种，其中芸香科、大戟科、豆科、唇形科、蔷薇科、十字花科、樟科、卫矛科共包含亚麻酸植物 73 种，是湘西亚麻酸资源植物的数量优势科，花椒属、南蛇藤属、猕猴桃属、乌桕属、山茶属、荚蒾属是湘西亚麻酸资源植物的数量优势属。湘西地区亚麻酸资源植物以木本植物为主，占该地区亚麻酸资源植物总种数的 71.35%，其次是草本植物，占该地区亚麻酸资源植物总种数的 28.65%。

（2）亚麻酸含量高，利用价值大。湘西亚麻酸资源植物中，中等及高含量亚麻酸植物共有 90 种，占总亚麻酸植物的 52.63%，这一大类群是亚麻酸植物高产富油种，具有较大的开发利用潜力，值得进一步深入研究和开发。

（3）分布范围广、分布区域大。水平方向上，湘西全州都有分布，主要集中分布于湘西州中北部地区，其中高产富油种主要集中分布于湘西州中部地区，自然保护区、风景名胜区、森林公园等区域是重点分布区域；垂直方向上，分布范围广，从海平面到海拔 1 700 m 范围内都有分布，海拔 600~800 m 范围内亚麻酸植物最丰富。

3.2 适合湘西地区发展产业的亚麻酸资源植物

湘西地区亚麻酸资源植物丰富，可供开发利用种类众多。根据湘西地区的实际特点和亚麻酸资源产业化发展的需要制定出相关筛选指标，利用层次分析法对其进行综合评价筛选，共筛选出 11 种适合在湘西地区开发利用的亚麻酸资源植物，即：美味猕猴桃、中华猕猴桃、香薷、藿香、刺壳花椒、杜仲、青荆、紫苏、路边青、回回苏、独行菜。

参考文献：

CHEN GX, LIAO WB, XIONG LZ, et al., 2015. Exploitation and sustainable utilization of medicinal plant resources in Western Hunan[M]. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press: 1-7. [陈功锡，廖文波，熊莉芝，等，2015. 湘西药用植物资源开发与可持续利用[M]. 成都：西南交通大学出版社：1-7.]

CHEN GX, TIAN XR, XIAO JW, et al., 2016. Plant resources of linolenic acid in China[M]. Beijing: Scientific and Technical Documentation Press: 76-213. [陈功锡，田向荣，肖佳伟，等，2016. 中国亚麻酸植物资源[M]. 北京：科学技术文献出版社：76-213.]

CHENG X, 2016. An investigation and evaluation of the wild flower resources in Scenic Spot of Shen MuLei[D]. Sichuan: Sichuan Agricultural University: 16-29. [程昕，2016. 神木垒风景区野生草本花卉资源调查与评价[D]. 四川：四川农业大学：16-29.]

CHRISTON R, HALOUE R, DURAND G, 1995. Dietary polyunsaturated fatty acids and aging modylate lutathione-related antioxidants unratliver[J]. J Nutr, 125: 3062-3063.

Editorial Committee of Oil Plants in China, 1987. Oil plants in China [M]. Beijing: Science Press: 33-552. [中国

油脂植物编写委员会，1987. 中国油脂植物[M]. 北京：科学出版社：33-552.]
Editorial Committee of Flora of China, Chinese Academy of Sciences, 1978-1999. Flora of China (Vol. 7-80) [M]. Beijing: Science Press. [中国科学院中国植物志编辑委员会，1978-1999. 中国植物志(第 7-80 卷)[M]. 北京：科学出版社.]
Editorial Board of Hunan Flora, 2000-2010. Hunan Flora (Vol. 2-3) [M]. Changsha: Hunan Science and Technology Press. [湖南植物志编辑委员会编，2000-2010. 湖南植物志 (第 2-3 卷)[M]. 长沙：湖南科学技术出版社.]
DENG YL, CHEN ST, ZHANG JP, 2007. Study on the oil plants in western Hunan autonomous prefecture[J]. Hunan For Sci Technol, 4: 12-16. [邓阳陵，程述庭，张敬平，2007. 湘西州油脂植物研究[J]. 湖南林业科技，4：12-16.]
GAO DW, 2009. Pharmaceutical value and research survey of alpha-linolenic acid [J]. China Mod Doct, 47(31)28, 31. [高大文，2009. α-亚麻酸的药用价值及研究概况[J]. 中国现代医生，47(31)：28,31.]
GB 5009. 6-2016, Method for determining crude fat content in grain [S]. Beijing: China Standard Press. [GB 5009. 6-2016，粮食中粗脂肪含量测定的方法[S]. 北京：中国标准出版社.]
GB 5009. 168-2016, Method for Determination of Fatty Acids in Food [S]. Beijing: China Standard Press. [GB 5009. 168-2016，食品中脂肪酸的测定[S]. 北京：中国标准出版社.]
HUANG QT, YOU SS, HUANG RH, et al., 1997. Appraising ornamental wooden vines resources by analytic hierarchy process[J]. J Fujian For Coll, 17(3): 269-272. [黄启堂，游水生，黄榕辉，等，1997. 运用层次分析法评价木质藤本观赏植物资源[J]. 福建林学院学报,17(3)：269-272.]
LI JX, SUN JY, LIU F, et al., 2010. Optimization of ultrasound-assisted extraction process of kiwi seed oil[J]. Chin Oil Fat, 35(8): 11- 14. [李加兴，孙金玉，刘飞，等，2010. 超声波辅助提取猕猴桃籽油的工艺优化[J]. 中国油脂，35(8)：11- 14.]
LI MC, 2004. Study of vertical plane greening plant optimum using analytical hierarchy process technology[J]. J Wuhan Technol Univ, 26(3): 165-167. [李梅春，2004. 基于层次权重分析技术的垂直绿化植物资源优选[J]. 武汉理工大学学报，26(3)：165-167.]
LLOYD-JONES DM, EVANS JC, LEVY D, 2005. Hypertension in adults across the age spectrum: Current outcomes and control in the community[J]. J Am Med Assn, 294: 466-472.
LU MY, 2018. Selection and evaluation of salt-tolerant landscape plant resources in coastal area of Hebei Province[D]. Handan: Hebei University Of Engineering: 8-16. [鲁梦莹，2018. 河北滨海地区耐盐景观植物资源筛选及评价[D]. 邯郸：河北工程大学：8-16.]
MA CJ, MA MH, ZHANG YK, et al., 2005. Comparison of eucommia key fruit seed oil and kiwi fruit seed oil[J]. J Jishou Univ (Nat Sci Ed), (4): 66-69. [麻成金，马美湖，张永康，等，2005. 杜仲翅果籽油与猕猴桃籽油的比较研究[J]. 吉首大学学报(自然科学版)，(4)：66-69.]
QI CJ, YU XL, 2002. A survey of Hunan seed plants[M]. Changsha: Hunan Science & Technology Press. [祁承经，喻勋林，2002. 湖南种子植物总览[M]. 长沙：湖南科学技术出版社.]
TANG DQ, ZHANG SP, GAO BN, 1998. A comprehensive appraised by using AHP about the utilization of cultivars of sweet *Osmanthus*[J]. Jiangsu For Sci Technol, 25(1): 11-16. [唐东芹，张思平，高本年，1998. 用 AHP 法对桂花品种应用的综合评价[J]. 江苏林业科技，25(1)：11-16.]
WU LH, 2003. Study on the evaluating system of indoor leaf-viewed plants introduced[J]. J Fujian For Sci Technol, 30(4): 61-64. [吴丽华，2003. 室内观叶植物价值评价体系研究[J]. 福建林业科技，30(4)：61-64.]
WU LY, YANG WG, HUANG Q, et al., 2013. Separation of unsaturated fatty acid from *Eucommia* seed oil and the analysis of its α-linolenic acid content[J]. J Food Saf Qual, 4(5): 1393-1400. [吴丽雅，杨万根，黄群，等，2013. 杜仲籽油中不饱和脂肪酸的分离及其 α–亚麻酸含量分析[J]. 食品安全质量检测学报，4(5)：1393-1400.]
XIAO, SUN L, CHEN GX, et al., 2016. Distribution patterns of linolenic acid plants in china and its relationship with climate and geographical factors[J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 36(3): 606-617. [肖佳伟，孙林，陈功

锡，等，2016. 中国亚麻酸资源植物分布格局及其与气候和地理因子的关系[J]. 西北植物学报，36(3)：606-617.]

YOU LJ, LIU GL, 2011. Pharmacological effects of alpha-linolenic acid [J]. Chin Comm Phys (Med Special), 13 (29): 10. [尤丽菊，刘国玲，2011. α-亚麻酸的药理作用[J]. 中国社区医师(医学专业)，13(29)：10.]

ZHANG YJ, 2018. Study on regional characteristics of environmental colors of traditional villages in western Hunan [D]. Changsha: Hunan University: 74-76. [张艺婕，2018. 湘西传统村落环境色彩的地域性特征研究[D]. 长沙：湖南大学：74-76.]

ZHANG YK, 2016. Investigation and evaluation of wild ornamental plant in Nankun Mountain Nature Reserve in Guangdong Province[D]. Guangzhou: South China Agricultural University: 34-40. [张育恺，2016. 广东南昆山自然保护区野生观赏植物资源分析与评价研究[D]. 广州：华南农业大学：34-40.]

ZHAO HQ, LU CY, 2011. Enrichment and purification of α-Linolenic acid from *H. acerba* seed oil[J]. Mod Food Sci Technol, 27(10)：1225-1229. [赵虹桥，卢成瑛，2011. 枳椇籽油α -亚麻酸的富集纯化工艺研究[J]. 现代食品科技，27(10)：1225-1229.]

ZHAO HQ, LU CY, DONG AW, et al., 2006. Study on flax and acid draw separate of *Akebia trifoliata* seed [J]. Hunan For Sci Technol, (4): 8-10. [赵虹桥，卢成英，董爱文，等，2006. 三叶木通籽亚麻酸的提取分离研究[J]. 湖南林业科技，(4)：8-10.]